

역삼투 시스템을 이용한 감 과즙의 농축

강현아 · 장규섭
충남대학교 식품공학과

Concentration of Persimmon Juice by Revers Osmosis System

Hyun-Ah Kang and Kyu-Seob Chang

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Abstract

Membrane separation technology was applied to prepare high quality persimmon juice from persimmon, which is produced in large quantities in Korea. The influences of time, pressure, and temperature on permeate flux were studied during concentration by reverse osmosis. The chemical components of retentate were also analyzed. The permeate flux was higher as the operating temperature and pressure were increased, and was influenced more strongly by operating pressure than temperature. Maximum concentration by reverse osmosis employed in this study in the oBrix scale was about 30. Retention percentage of sugar in the persimmon juice which was concentrated by membrane separation system was more than 90% and was not influenced by operating conditions. Retention percentage of volatile components in the same process was more than 60%; it was increased as operating temperature was decreased and pressure was increased.

Key words: persimmon juice, reverse osmosis

서 론

최근 식품 산업에서 필요로 하는 분리공정에 보다 저렴한 비용으로 간편하면서도 효과적으로 처리할 수 있는 막 분리 기술이 개발되어 주목받고 있다. 특히, 열변성이 문제가 되는 분야에서의 막분리 기술의 응용은 제품의 품질 향상에 훨씬 효과적인 방법으로 인정되고 있다. 막분리 기술중 역삼투법을 적용하여 농축하는 방법은 기존의 증발 농축법에 비하여 휘발성 성분의 손실이 적고 제품의 품질 및 영양가의 손실을 최대한 방지할 수 있는 기술로서 주목받고 있다⁽¹⁾.

국외의 경우 사과, 오렌지, 포도 등의 각종 과즙의 농축실험에 역삼투법을 이용하여 연구 보고된 결과가 많으나, 국내에서의 연구는 아직 미흡한 실정이다. 특히 우리 고유의 식품에 대한 막분리 기술의 적용은 그 품질을 향상시킬 뿐만 아니라 국제 경쟁력을 높이는 데도 기여하리라 기대된다.

따라서 본 연구에서는 감의 소비를 증대하며, 고품질의 제품을 개발하고자 역삼투 기술을 이에 적용하

였다. 감 과즙의 농축시에 시간, 압력, 공급액의 온도 및 농도가 투과 플럭스에 미치는 영향을 조사하고, 아울러 제품의 성분을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 감은 충청남도 논산 지방산 율하시를 정제된 펙틴 분해효소(Novo Laboratories, Inc., Wilton, CT)를 0.04% 첨가하여 교반 후 50°C에서 2시간 반응시키고 여과포에 담아 착즙하여 본 실험에 사용하였다⁽²⁾.

막 분리 공정 시스템

본 실험에 사용한 역삼투 시스템은 Fig. 1과 같다. 착즙한 감 과즙은 예비 여과기 및 펌프를 지나 한외여과막을 통과하여 투과액과 배제액으로 나누어진다. 그리고 한외여과 막을 통과한 청징된 감 과즙은 고품질의 농축 과즙을 생산하기 위한 역삼투 시스템으로 환류된다. 한외여과 막은 유효막 면적 0.7 m²의 중공사형(hollowfiber) 막(선경인더스트리)을 사용하였으며, 역삼투 막은 1.3 m³/day의 처리능력을 갖는 나선형

Corresponding author: Kyu-Seob Chang, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, 220 Kung-dong, Yousong-gu, Taejon 305-764, Korea

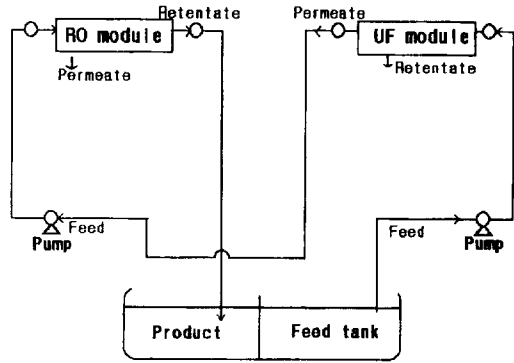


Fig. 1. Schematic diagram of ultrafiltration and reverse osmosis experimental system.

Table 1. Specification of the membrane module used in reverse osmosis

Type Material	Configuration Membrane polymer	Spiral-Wound Composite Polyamide
Operating condition	Maximum applied pressure	69 kg/cm ²
	Maximum operating temperature	45°C
	pH range	3.0-10.0
Salt rejection	Minimum	99.2%
Dimension	Diameter	61 mm
	Length	1016 mm

(spiral wound) 막을 장착하였다. 막의 크기 및 특성은 Table 1과 같다.

재료 및 투과액의 성분분석

감 과즙의 당분석은 투과액 및 농축액을 각각 10 mL 취하여 whatman No.2 filter paper 및 0.45 μm membrane filter로 여과한 것을 Sep-Pak C₁₈ cartridge (Waters Associate, U.S.A.)을 통과시켜 Table 2와 같은 조건하에서 HPLC법으로 정량하였다. 휘발성 성분은 시료 300 mL에 내부 표준물질 Dodecane 100 μg 을 첨가하고 1 L의 증류수를 가하여 Schultz 등⁽⁹⁾의 방법에 따라 SDE (Simultaneous steam Distillation and Extraction)장치를 사용하여 상압하에서 4시간 추출하여 GC를 이용하여 분석하여 total flavor양을 감 과즙액과 각 공정조건에 따른 농축액의 면적을 비교하여 %로 나타내었다. 이 때 분석 조건은 Table 3과 같다. 또한 수용성 탄닌의 함량은 AOAC방법에 따라 분석하였다⁽⁶⁾.

결과 및 고찰

시간이 투과플럭스에 미치는 영향

Table 2. Operating conditions of HPLC for sugar analysis in persimmon juice

Items	Condition
Instrument	Spectral-physics
Column	Sugar-PAK 1 (6.5×300 mm)
Column temp.	90°C
Detector	Refractive index detector (Shodex)
Mobile phase	H ₂ O (0.1 mM Ca-EDTA)
Flow rate	0.5 mL/min
Injection volumn	10 μL
Chart speed	0.25 cm/min

Table 3. Operating conditions for analysis of volatile flavor component by GC

Items	Condition
Instrument	GC (Hewlett Packard, 5890 series II)
Column	Supelco wax 10 (60 m×0.25 mm, ID) fused silica capillary column
Detector	FID
Carrier gas	N ₂ (1.2 mL/min)
Column Temperature	50°C — 2°C/min → 250°C
Injector Temperature	250°C
Detector Temperature	250°C

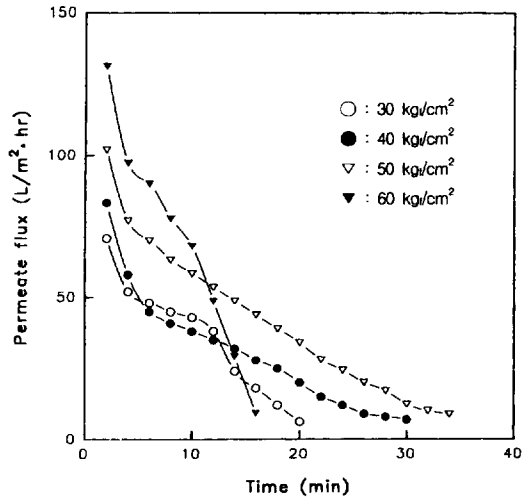


Fig. 2. Influence of time on permeate flux of spiral-wound module at 20°C.

한외여과 시스템에서 청정화된 감 과즙을 역삼투 시스템에 이용하여 농축시에 시간에 따른 투과플럭스의 변화를 살펴보았다. Fig. 2는 공급액의 온도를 20°C로 하여 나선형 모듈을 이용하여 농축시에 시간에 따른 투과플럭스의 변화를 살펴 본 것이다. 시간이 경과함에 따라 투과플럭스는 급속히 저하됨을 볼 수 있었으며, 특히 높은 공정압력 조건 (60 kg/cm²)에서

는 단시간에 급속히 저하되었다. 이러한 투과플럭스의 감소는 액의 농축이 진행됨에 따라 삼투압이 증가하고, 농도분극 현상이 일어남에 기인한 것으로 생각된다.

福 등⁽⁷⁾은 역삼투법을 이용한 농축 과정에서 청징 과즙은 비교적 투과유속의 저하가 낮으나 혼탁 과즙의 경우 더 컸으며, 이는 pectin, cellulose 등의 막면 부착이 문제가 되고 있다고 보고하였다.

공정압력이 투과플럭스에 미치는 영향

역삼투 시스템을 이용하여 감 과즙을 농축시에 공정압력이 투과플럭스에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 감 과즙의 투과플럭스는 공정압력에 따라 거의 직선적으로 증가하였으며, 30 kg/cm²에서 60 kg/cm²으로 공정압력을 높이면 투과플럭스가 거의 2배 정도 증가하였다.

福 등⁽⁷⁾은 공정압력이 높으면 투과유속이 증가하여 공정압력을 50 kg/cm²에서 70 kg/cm²로 높이면 투과유속이 거의 1.5배 정도 증가하였다고 보고하였으며, 투과유속과 공정압력은 거의 직선적인 관계를 나타내었다고 보고하였다.

공급액의 온도가 투과플럭스에 미치는 영향

Fig. 4에는 역삼투 시스템을 이용하여 감 과즙을 농축시에 공급액의 온도가 감 과즙의 투과플럭스에 미치는 영향을 나타내었다. 공급액의 온도를 20°C에서 40°C로 증가시에 감 과즙의 막 투과플럭스는 131 L/m²·hr에서 170 L/m²·hr로 증가하였으며, 공정압력

이 미치는 영향보다는 적었다.

Kirk 등⁽⁸⁾ 많은 연구에서 온도 증가시에 투과유속이 증가하였다고 보고하고 있으며, 福 등⁽⁷⁾은 온주밀감 청징 과즙 농축시에 투과유속에 미치는 주요 인자는 공정압력 > 온도 > 공급유량 순 이었다고 보고하였다.

농도가 투과플럭스에 미치는 영향

역삼투 시스템을 이용하여 감 과즙의 농축시 공급액의 농도 증가에 따른 투과유속의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 농도가 증가함에 따라 감 과즙의 막 투과플럭스도 저하됨을 볼 수 있었다. 이는 역삼투 공정 동

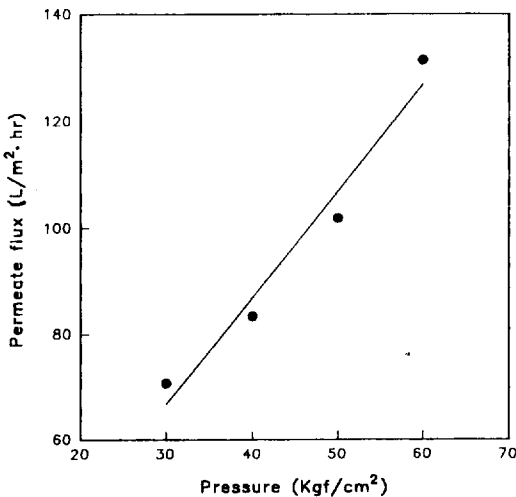


Fig. 3. Influence of pressure on permeate flux of spiral-wound module at 20°C.

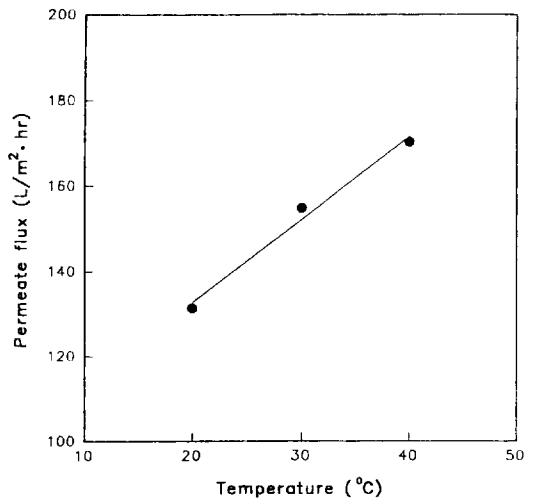


Fig. 4. Influence of temperature on permeate flux of spiral-wound module at 60 kg/cm².

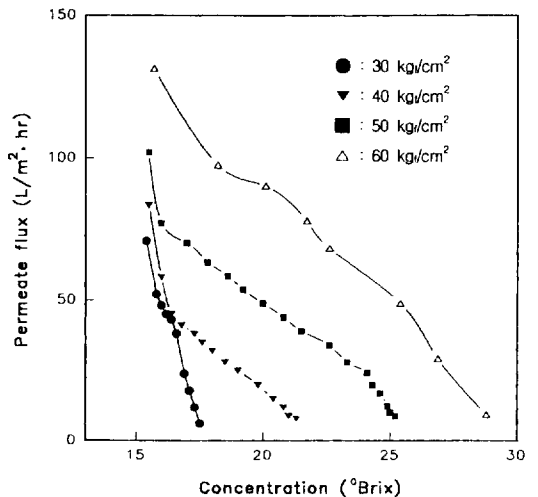


Fig. 5. Influence of concentration on permeate flux spiral-wound module at 20°C.

안 공급액의 농도가 증가함에 따라 삼투압이 증가하여, 공정압력과 삼투압의 차이를 감소시켜 투과플럭스를 감소시키게 된 결과로 생각된다.

한편, 본 실험에 사용한 역삼투막의 농축의 한계농도는 30 kg/cm²에서는 18°Brix, 40 kg/cm²에서는 21°Brix, 50 kg/cm²에서는 25°Brix, 60 kg/cm²에서는 29°Brix로 나타났다. 따라서 본 시스템을 이용하여 감 과즙을 농축시에 30 kg/cm²의 공정압력은 비효율적이며, 나선형 모듈을 이용하여 감 과즙의 농축시에는 적어도 50 kg/cm² 이상의 공정압력이 효율적인 것으로 생각된다.

당의 잔존율

福 등⁽⁷⁾은 온주밀감을 RO 농축시 동일한 압력에서 농축효율을 높이기 위해서는 과즙에 함유된 sucrose의 전화를 억제하는 것이 중요하며, 과즙에 있는 삼투압의 60~80%는 sucrose, fructose, glucose에서 유래된다고 보고하고 있다.

본 실험에 사용한 감 과즙의 fructose:glucose:sucrose의 비율은 53.1:46.3:0.6으로 비교적 sucrose의 함량이 적은 것으로 나타났다. 이는 본 실험에 사용한 감이 자연시로 저장 기간중 분해된 것으로 생각된다. 小 등⁽⁸⁾은 감은 저장 기간중에 sucrose가 invertase에 의해 fructose와 glucose로 분해되어 그 함량은 감소한다고 보고하고 있다.

본 실험에서 감 과즙을 역삼투막을 이용하여 농축시에 각 공정조건이 당의 잔존율에 미치는 영향을 Table 4에 나타내었다. 역삼투 막을 이용한 감 과즙의 농축시 각 공정의 변화는 당 량의 회수율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

따라서 역삼투법 농축시 당 성분의 경우 공정의 조

Table 4. Retention percentage of sugar components in concentrated juice using reverse osmosis membrane

Pressure (kg/cm ²)	Temp. (°C)	Fructose (%)	Glucose (%)	Sucrose (%)
30	20	93.5	92.7	95.6
	30	92.7	93.1	95.2
	40	93.2	92.5	95.5
40	20	93.3	93.1	95.2
	30	93.0	92.4	92.2
	40	93.2	92.7	95.8
50	20	93.2	94.5	95.7
	30	93.6	92.1	95.9
	40	92.9	92.0	95.3
60	20	93.5	93.9	95.0
	30	93.6	93.1	94.9
	40	92.9	92.6	95.7

건에 의해 당의 잔존율이 영향을 받기보다는 막의 특성 및 용질의 성질에 영향을 받는 것으로 추정된다. 한편 Sheu 등⁽¹⁰⁾은 역삼투법을 이용하여 사과 주스를 농축시에 같은 공정조건에서 HR (high resistance) membrane보다 CA (cellulose acetate) membrane이 당의 회수율이 높았다고 보고하고 있다.

휘발성 성분 잔존율

감의 휘발성 성분에 대한 연구보고는 많지 않다. Horvat 등⁽¹¹⁾은 감의 주요 휘발성 성분은 bornyl acetate와 (E)-2-hexenal라고 보고하고 있다.

본 실험에 사용한 역삼투 농축 시스템을 이용하여 감 과즙의 농축시 공정조건에 따른 휘발성 성분의 잔존율을 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 보는바와 같이 압력이 상승할 수록 잔존율은 증가하며, 공급액의 온도는 영향을 미치지 않거나, 공급액의 온도가 높을수록 미소하게 감소하는 경향을 나타내었다.

Chou 등⁽¹²⁾은 사과주스의 농축실험에서 n-hexan과 ethyl-2-methyl butyrate의 두 가지 향기 성분의 투과율은 온도 증가시 증가하는 경향을 보여, 향기 성분의 가장 효과적인 조작 조건을 저온(20°C), 고압(50 bar) 이었다고 보고하고 있다. Kane 등⁽¹³⁾도 lemon 주스의 농축 실험에서 향기 성분의 잔존율은 높은 온도에서 감소하였으며, 높은 압력에서는 증가하였다고 보고하고 있다.

탄닌의 함량

감 조직중에는 탄닌이라는 강한 떫은맛을 내는 폴리페놀성 물질을 함유하고 있어 그 이용이 제한되어 왔다. 본 시스템을 이용하여 감 과즙을 농축시에 한외

Table 5. Retention percentage of total volatile components in concentrated juice using reverse osmosis membrane

Pressure (kg/cm ²)	Temperature (°C)	Total volatiles components
30	20	63.3
	30	62.9
	40	61.7
40	20	67.0
	30	65.8
	40	64.2
50	20	74.9
	30	73.2
	40	71.3
60	20	78.7
	30	77.9
	40	76.2

여과막을 통과한 투과액의 수용성 탄닌의 함량은 160 mg%에서 70 mg% 내외로 50%이상 감소하였으며 역삼투막을 통과한 감 과즙 농축액은 18 mg%내외로 아주 적은량을 보였다.

이는 손 등⁽⁴⁾의 보고에 의하면 직경 500~600 μm 내외로 탄닌세포가 비교적 커서 막분리 시스템을 통과하지 못하고 배제되었을 것으로 생각된다.

요 약

국내에서 과잉 생산되고 있는 감을 이용하여 제품화할 뿐만아니라 고품질화 기술 개발을 위하여 막분리 시스템을 적용하였다. 즉 역삼투법을 이용하여 감 과즙을 농축시에 시간, 압력, 공급액의 온도 및 농도가 감 과즙의 투과플럭스에 미치는 영향을 조사하고 제품의 성분을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

감 과즙을 역삼투막을 이용하여 농축시에 공정온도가 높고 공정압력이 높을수록 투과유속이 증가하였으며, 온도의 영향보다는 공정압력의 영향이 더 큰것으로 나타났다. 또한 감 과즙의 농도변화에 따른 투과유속의 변화는 공정압력이 낮을수록 더 급격히 저하되었으며, 본 실험에 사용한 역삼투막의 농축한계 농도는 30°Brix 전후를 나타내었다. 본 시스템을 이용하여 감 과즙을 농축시에 당의 잔존율은 90% 이상이었으며 공정조건에 큰 영향을 받지 않았다. 또한 휘발성 성분의 잔존율은 60% 이상이었으며, 공급액의 온도가 낮고 공정압력이 높을 때 잔존율이 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산학협동재단의 연구비 지원에 의하여 이루어진 연구내용의 일부로서 이에 감사드립니다.

문 헌

1. 木村 進, 龜和田光男: 最先端 食品加工技術. 株式會社ジスク, p 202 (1985)
2. 변유량: 신분리 공정의 식품공업에의 응용. 식품과학, 20, 4 (1987)
3. Mohr, C.M.: *Membrane application and research in food processing*. NDC, p. 9 (1988)
4. Thomas, R.L., Gaddis, L.S., Westfall, P.H., Titus, T.C. and Ellis, W.D.: Optimization of apple juice production by single pass metallic membrane ultrafiltration. *J. Food Sci.*, 52, 1263 (1987)
5. Shultz, T.H., Flath, R.A., Mon, T.R., Eggling, S.B. and Teranish, R.: Isolation of volatile components from a model system. *J. Agric. Food Chem.*, 25, 446 (1977)
6. A.O.A.C.: *Official Method of Analysis.*, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. (1990)
7. 福谷敬三, 小川浩史: 逆滲透法による果汁の濃縮における膜の適性の比較と操作壓の影響. 日本食品工業學會誌, 30, 636 (1983)
8. Kirk, D.E., Montgomery, M.W. and Kortekaas, M.G.: Clarification of pear juice by hollow fiber ultrafiltration. *J. Food Sci.* 48, 1663 (1983)
9. 小宮山美弘, 原川 守, Masao Tsuji: 果實類の熟度と貯藏條件に基づく糖組成の特徴. 日本食品工業學會誌, 32, 522 (1985)
10. Sheu, M.J. and Wiley, R.C.: Preconcentration of apple juice by reverse osmosis. *J. Food Sci.*, 48, 422 (1983)
11. Horvat, R.J., Senter, S.D., Chapman, G.W., JR. and Payne, J.A.: Volatile compounds from the mesocarp of persimmons. *J. Food Sci.*, 56, 262 (1991)
12. Fang C., Robert C.W. and Donald V.S.: Reverse Osmosis and Flavor Retention in Apple Juice Concentration. *J. Food Sci.*, 56, 484 (1991)
13. Kane, L., Braddock, R.J., Sims, C.A., and Matthews, R. F.: Lemon juice aroma concentration by reverse osmosis. *J. Food Sci.*, 60, 190 (1995)
14. 孫泰和, 成宗煥: 감 果實의 탄닌 物質 生成 및 脫澱機構. 한국농화학회지, 25, 201 (1982)

(1996년 12월 13일 접수)